ВИСШ ИНСТИТУТ ПО АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛСТВО — СОФИЯ
Геодезически факултет — Катедра „Геодезия“

Инж. НГУЕН ДЪК МИН

# СЪЗДАВАНЕ НА БАЗА ДАННИ ЗА ЦИФРОВ МОДЕЛ НА РЕЛЕФА И НЕЙНОТО ИЗПОЛЗУВАНЕ ЗА АВТОМАТИЗИРАНО ИЗВЛИЧАНЕ НА ПРОФИЛИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

СОФИЯ
1986

ВИСШ ИНСТИТУТ ПО АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛСТВО - СОФИЯ
Геодезически факултет - Катедра " Геодезия"

Инж. НГУЕН ДЪК МИН

# СЪЗДАВАНЕ НА БАЗА ДАННИ ЗА ЦИФРОВ МОДЕЛ НА РЕЛЕФА И НЕЙНОТО ИЗПОЛЗУВАНЕ ЗА АВТОМАТИЗИРАНО ИЗВЛИЧАНЕ НА ПРОФИЛИ

## А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за присъждане на научна степен
"Кандидат на техническите науки"

НАУЧНИ РЪКОВОДИТЕЛИ :

Проф. д.т.н. инж. Г.Златанов

Доц. к.т.н. инж. П.Томова

РЕЦЕНЗЕНТИ :

Проф. к.т.н. инж. Любен Симеонов Тодоров

Доц. к.т.н. инж. Пеньо Димитров Пенев

СОФИЯ, 1986 год.

Дисертационната работа се състои от пет глави и заключение. Разработна е на 127 машинописни страници текст, съдържа 50 фигури, 8 таблици, книгопис с 39 литературни източника.

Защитата на дисертационната работа ще се състои на 1986 год. от часа в зала 120 на ВИАС на заседание на Специализирания научен съвет по Геодезия и Земеустройство при ВАК. Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Геодезически факултет на ВИАС, стая 209 , адрес :

София 1421, бул. " Хр. Смирненски "№1
ВИАС, Геодезически факултет.

## УВОД

С появяването на електронно-изчислителна техника процесът на създаването и обновяването на картите или плановете до някаква степен се автоматизира. Днес, с масовото внедряване в науката и практиката на микрокомпютрите и интерактивните графични системи / ИГС/ възможността за изследване на цифровия модел на релефа / ЦМР/, а така също възможността за неговото приложение в практиката още повече нараства.

С помощта на ЦМР могат да се решат следните задачи:

- отчитане на височина на точка при зададени равнинни координати и извличане на профили по дадено трасе или мрежа от линии,

- извличане на информация за автоматизирано изчертаване на хоризонталите при даден мащаб и дадено сечение,

- определяне на посоката на най-големия и нулевия наклон на теренната повърхност в дадена точка и др.

ЦМР фактически се явява дискретно / чрез ограничен брой точки/ представляне на релефа. Елементи на ЦМР са терени точки, зададени с трите си координати X, У; Н в някаква предварително дефинирана единна координатна система. Тези точки могат да бъдат разпръснати или да бъдат възли на някаква мрежа от отделни фигури.

Въпросът за прилагане на ЦМР в много страни все още изследва, а във Виетнам този въпрос прави първите си стъпки.

Изхождайки от горните положения в дисертацията се поставят за решение следните въпроси:

- подходяща структура на ЦМР,

- подходящи начини за интерполиране на ЦМР,

- целесъобразна програмна система за създаване на база данни за ЦМР и автоматизирано извличане на профили.

- осигуряване на необходимата точност на създадения ЦМР.

# ГЛАВА ПЪРВА

## 1.1. ТИПОВЕ ЦМР

Съществуващи методи за изследване на ЦМР могат да се групират в три направления:

- Модели, неотчитащи структурата на релефа,
- Модели, частично отчитащи структурата на релефа,
- Модели, отчитащи структурата на релефа.

Основни методи, използувани за апроксимация и интерполиране са полиноми или сплайн-функции в област от квадратна, кръгова форма или област заградена от структурните линии.

## 1.2. КРИТИЧЕСКИ БЕЛЕЖКИ ВЪРХУ СЪЩЕСТВУВАЩИТЕ РЕШЕНИЯ

Релефът в общия случай представлява сложна повърхнина. Тази повърхнина може да се състои от плавни участъци от повърхнини, които са твърде разнообразни по форма и големина. При заснимане на релефа, получените точки винаги са неравномерно разположени по характерни места. При това положение апроксимацията на релефа с полиноми или със сплайн-функции от една страна зависи от конфигурацията на изходните точки, а от друга страна те в общия случай не запазят характерните си места на получения модел. Тези методи от такива области в общия случай не осигрява непрекъснатост и гладкост на цялата теренна повърхнина. Повърхнина, получена с полиноми, чрез МНМК в общия случай няма да минава през изходните точки, въпреки, че те лежат на самата теренна повърхнина.

# ГЛАВА ВТОРА

## 2.1. СВЕДЕНИЯ ЗА КРИВИ И ПОВЪРХНИНИ В ТРИМЕРНО ПРОСТРАНСТВО

### 2.1.1. ПОЛИНОМ НА БЕРНШАЙН - БЕЗЕ

В едно доказателство на първата теорема на Вайерщрасе

се използува полином [21] , предложен от Бернщайн

$$B_n(x) = \sum_{k=0}^{n} \frac{n!}{k!(n-k)!} x^k (1-x)^{n-k} f\left(\frac{k}{n}\right), \quad /2.1.6/$$

който се нарича полином на Бернщайн. Ако скалара $f(\frac{k}{n})$ се замени с вектора $r_k$ , то при $0 \leq x \leq 1$ полинома

$$r(x) = \sum_{k=0}^{n} \frac{n!}{k!(n-k)!} x^k (1-x)^{n-k} r_k \quad / 2.1.8/$$

представлява сегмент от крива на Безе от степен $n$ и се нарича полином на Бернщайн - Безе.

2.1.2. КРИВА НА БЕЗЕ

Въз основа на / 2.1.8/ параметричното уравнение на полиномалната крива на Безе в общия вид [28]

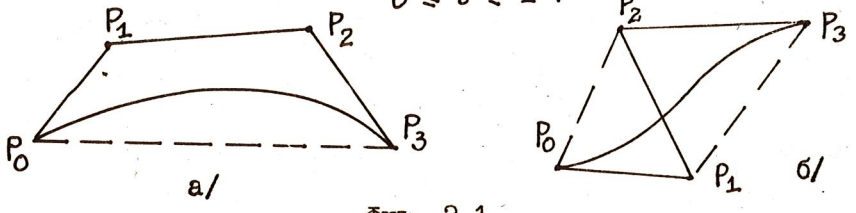
$$r \equiv r(t) = \sum_{i=0}^{n} \frac{n!}{i!(n-i)!} t^i (1-t)^{n-i} r_i , \quad / 2.1.10/$$

Може да се докаже [7] , че кривата на Безе винаги е разположена във вътрешността на многоъгълника на Безе, образуван от точки $r_i$, минаваща през точки $r_0, r_n$ и има направления на тангентите по страните $r_0 - r_1$ и $r_{n-1} - r_n$ .

При $n = 3$ се получава кубическата крива на Безе в следния вид / фиг. 2.1/

$$r \equiv r(t) = (1-t)^3 r_0 + 3t(1-t)^2 r_1 + 3t^2(1-t) r_2 + t^3 r_3 , \quad / 2.1.12/$$

$$0 \leq t \leq 1 .$$




Фиг .2.1

Крива от втора степен или права са частни случаи на кубическата крива на Безе.

2.1.3. УРАВНЕНИЕ НА ТЕРЕННА ПОВЪРХНИНА В ОКОЛНОСТТА НА ЗАДАДЕНА ТОЧКА

В околността на точка 0 / $X_0, Y_0$/ теренната повърхнина

може да се представи във вида [13]

$$H = H_0 + a_1 x + b_1 y + a_2 x^2 + b_2 y^2 + 2c\,xy, \quad / 2.1.31/$$

$$x = X - X_0, \quad y = Y - Y_0.$$

За вектора на най-големия наклон $\Gamma = Grad\, H$ ще имаме

$$\vec{\Gamma} = \frac{\partial H}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial H}{\partial y}\vec{j}, \quad / 2.1.34/$$

където $\vec{i}$ и $\vec{j}$ са единичните вектори по осите $x$ и $y$ в система / 0; x,y/. От /2.1.34/ непосредствено намираме за модула на $\vec{\Gamma}$

$$\|\Gamma\| = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}. \quad / 2.1.35/$$

## 2.2. ДЕТЕРМИНАТИ И L- КООРДИНАТИ

Двойната площ на триъгълника $\Delta 123$ се определя по формулата [14]

$$2P = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix} = det(i,j,k), \quad /2.2.1/$$

където / $X_1, Y_1$ /,/ $X_2, Y_2$/,/ $X_3, Y_3$ / са координати на върховете на триъгълника.

За даден триъгълен елемент много често се използуват L- координати [11,25].

L-координати на точка $p$ във вътрешността на триъгълник $ijk$ се определят по следните отношения [11,25]

$$L_1 = \frac{det(p,i,j)}{det(i,j,k)}; \quad L_2 = \frac{det(p,k,i)}{det(i,j,k)}; \quad L_3 = \frac{det(p,i,j)}{det(i,j,k)}. \quad 2.2.9/$$

От / 2.2.9/ следва, че L- координати са нормирани.

## 2.3. ТРИЪГЪЛЕН ЕЛЕМЕНТ, ИНТЕРПОЛИРАН ЧРЕЗ РАВНИНА

Интерполационната функция има вида [25]

$$\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y, \quad / 2.3.1/$$

където $\alpha_1$, $\alpha_2$, $\alpha_3$ се получават след решение на системата

$$\phi_i = \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i ,$$
$$\phi_j = \alpha_1 + \alpha_2 x_j + \alpha_3 y_j ,$$
$$\phi_k = \alpha_1 + \alpha_2 x_k + \alpha_3 y_k . \qquad / 2.3.2/$$

Тук / $x_i, y_i, \phi_i$ /, / $x_j, y_j, \phi_j$ /, / $x_k, y_k, \phi_k$ / са координати на върхове на триъгълника.

Формула / 2.3.1/ може да опише чрез $L$- координати $L_1$, $L_2$, $L_3$ на точка /X,Y/ в следния вид [11,25]

$$\varphi = \phi_i L_1 + \phi_j L_2 + \phi_k L_3 . \quad / 2.3.13/$$

## 2.4. ТРИЪГЪЛЕН ЕЛЕМЕНТ, ИНТЕРПОЛИРАН С ПОЛИНОМ ОТ ПО-ВИСОКА СТЕПЕН

Интерполационния полином на триъгълния елемент е записан в Лагранжов вид

$$\varphi = \sum_{\beta=1}^{m} N_\beta \phi_\beta , \qquad / 2.4.3/$$

където $\phi_\beta$ са значения на $\varphi$ във възловите точки, $N_\beta$ са функции на формата / базисни функции/ [11,25] , а $m$ е броят на възловите точки.

Интерполационният полином от трета степен има вида

$$\varphi = \phi_1 N_1 + \phi_2 N_2 + \cdots + \phi_{10} N_{10} , \quad / 2.4.6/$$

където:

- $N_1 = 1/2\ L_1(3L_1-1)(3L_2-1)$,
- $N_2$, $N_3$ се представят аналогично,
- $N_4 = 4{,}5\ L_1 L_2 (3L_1-1)$, $N_5 = 4{,}5\ L_1 L_2 (3L_2-1)$,
- $N_6, N_7, \ldots, N_9$ също са аналогично,
- $N_{10} = 27\ L_1 L_2 L_3$ .

Точка 4,5 разделят страната $ij$ на три равни части, аналогично, точки 6,7 и 8,9 се разделят страните $jk$ и $ki$ на три равни части съответно /фиг 2.9/.

Десетият параметър може да бъде изключен с помощта на линейното съотношение / [20, стр. 76] /

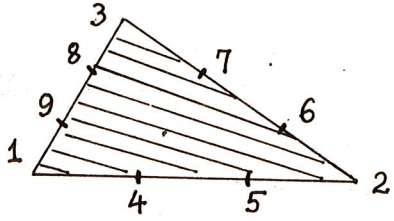
$$\phi_{10} = \frac{1}{4}\sum_{j=4}^{9}\phi_j - \frac{1}{6}\sum_{j=1}^{3}\phi_j \qquad / 2.4.7/$$

и / 2.4.6/ се получава в следния вид

$$\varphi = \sum_{j=1}^{9}\phi_j \overline{N_j} \quad , \qquad / 2.4.8/$$

където:

$$\overline{N_j} = N_j + \alpha_j N_{10} \, ,$$
$$\alpha_j = -\frac{1}{6} \quad /j = 1,2,3/ \, , \qquad / 2.4.9/$$
$$\alpha_j = \frac{1}{4} \quad /j = 4,5,\ldots,9) \, .$$




/ Фиг. 2.9 /

## 2.5. ЕРМИТОВА ИНТЕРПОЛАЦИЯ НА ТРИЪГЪЛЕН ЕЛЕМЕНТ

Интерполационната функция на триъгълен елемент има следния вид / [20, стр. 81]/

$$G^*(x,y) = \sum_{j=1}^{3}\left[U_j q_j^{(3)*}(x,y) + \left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)_j r_j^{(3)*}(x,y) + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)_j s^{(3)*}(x,y)\right], \qquad / 2.5.4/$$

където:

$$q_j^{(3)*}(x,y) = L_j(3L_j - 3L_j^2 + 2L_K L_\ell) \, ,$$
$$r_j^{(3)*}(x,y) = L_j^2(L_\ell \xi_{ij} + L_K \xi_{Kj}) + 0{,}5\, L_1 L_2 L_3 (\xi_{\ell j} + \xi_{Kj}) \, ,$$
$$s_j^{(3)*}(x,y) = L_j(L_\ell \eta_{ij} + L_K \eta_{Kj}) + 0{,}5\, L_1 L_2 L_3 (\eta_{\ell j} + \eta_{Kj}) \, ,$$
$$\xi_{m,n} = x_n - x_m \, ,$$
$$\eta_{m,n} = y_n - y_m \, ,$$
$$(m,n) \in (i,j,k) \, .$$

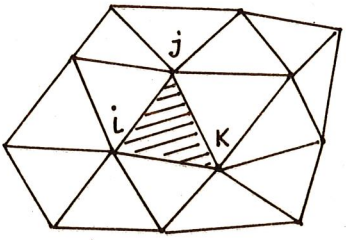
# ГЛАВА ТРЕТА

## 3.1. ЦМР - КОНЦЕПИЯ

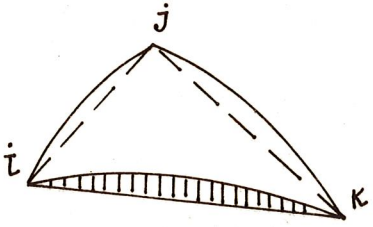
Поради разнообразните форми на релефа, получените точки от заснимането на релефа в общия случай са разпръснати и неравномерно разположени. При това положение цялата повърхност на релефа е трудно да се апроксимира чрез елементарни функции [3,14] .

За да се създаде ЦМР, цялата област се разделя на ограничен брой малки фигури. Нерегулярен ЦМР, съставен чрез мрежа от триъгълници създава условие за пълно описание на релефните форми. Мрежа от непокриващи се триъгълници трябва да се построи така, че страните им да следват структурните линии на релефа.

Чрез триъгълни елементи се покрива теренната повърхнина, като всеки елемент е заграден между вертикални равнини, минаващи през трите страни на триъгълника / фиг. 3.2/ от триъгълната мрежа / фиг. 3 .1/.




Фиг. 3.1



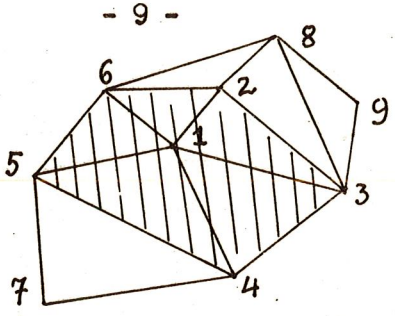

Фиг. 3.2

Пресечниците между вертикалните равнини и теренната повърхнина определят трите гранични линии. За всеки триъгълен елемент се построява апроксимационната функция H / X,Y/ отделно. Това се свежда до локално интерполиране и влиянието от конфигурацията на околните точки е най- малко.

Релефната форма във вътрешността на триъгълния елемент не е сложна. За това е достатъчно да се апроксимира примерно чрез полином от втора степен. Апроксимационната функция H / X,У/ на триъгълния елемент се построява въз основа на стойностите в трите върха и трите гранични линии. Повърхнината, получена от триъгълните елементи, интерполирани, примерно по 2.4 е непрекъсната / [20, стр. 79] /.

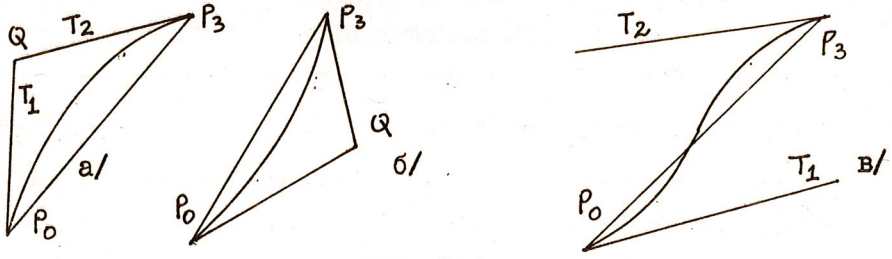
Въховете на триъгълниците са разположени на характерни места. От изискването, че страните на триъгълниците трябва следват терена следва, че някои от граничните теренни линии се явяват и скелетни линии. Това означава, че модела следва структурата на релефа. При това положение радиусите на кривината на граничните линии са големи. Следователно граничните линии могат да се приемат като прави отсечки или криви, които са близки до хордите. Ако граничните линии се приемат като прави отсечки, получената повърхнина се състои от равнинни триъгълници, за които се прилага линейна интерполация. Ако граничните линии се приемат като криви, получена повърхнина се състои от нелинейни триъгълни елементи, за които се прилага нелинейна интерполация.

При всяка възлова точка се построява околна повърхнина и тангенциална равнина по начин, изложен в точка 2.1.3. Тук обаче се използуват само околните точки, които със възловата точка образуват страни на триъгълници / фиг. 3.3/. Всички гранични линии, излизащи от тази точка приемат равнината като допирателна. Следователно тангентите на граничните линии са компланарни. Това дава възможност да се изгради гладка повърхнина [ 28, стр. 199, 218] и изходните точки се запазват на характерните си места.




Фиг. 3.3

Нека възловите точки $P_0$ и $P_3$ са два върха на някой триъгълник, следователно отсечката $P_0P_3$ е страна на триъгълник. Пресечницата на тангенциалната равнина в точка $P_0$ и вертикалната равнина, минаваща през $P_0P_3$ да означим с $T_1$, а пресечницата между тангенциалната равнина в точка $P_3$ и вертикалната равнина да означим с $T_2$. Пресечницата между теренната повърхнина и вертикалната равнина е името теренна граница линия при страната $P_0P_3$ на този триъгълник, а $T_1$ и $T_2$ са тангенти към крива в точка $P_0$ и $P_3$ съответно / фиг. 3.4/.




Фиг. 3.4

Както бе казано, заснимането / за да се достигне необходима точност на изобразяване на релефа / се извършва по дадена инструкция. Това води до ограничаване на максималното отклонение между хордата и теренната линия

$$f_{max} \leq D_{доп.} \qquad /3.1.1/$$

където $D_{доп.}$ е взето от съответната инструкция или може да бъде целесъобразно прието, а $f_{max}$ е максималното откло-

нение между хордата и дъгата.

Теренната линия между точки $P_0$ и $P_3$ може да опише чрез сегмент от параметрична кубическа крива $P/t/$, където $0 \leq t \leq 1$. При апроксимацията на теренната линия се избира тази кубическа крива, която отговаря на следните изисквания:

- Максималното разстояние между кривата и хордата удовлетворява условие / 3.1.1/.

-Кривата да минава през точка $P_0$ и $P_3$, а $T_1$ и $T_2$ да са тангенти към кривата в точката $P_0$,съответно $P_3$ / фиг.3.4/. Това означава, че

$$P(0) = P_0 \quad ; \quad P'(0) = P_0' \quad ;$$
$$P(1) = P_3 \quad ; \quad P'(1) = P_3' \quad . \qquad /3.1.2/$$

Кривата,която едновременно удовлетворява условия / 3. 1.1/ и / 3.1.2/ може да се избере от семейството кубически криви на Безе.

## 3.2. СТРУКТУРА НА БАЗАТА ДАННИ ЗА ЦМР

ЦМР може да се съхранява на трайни носители за информация и може да се използува така, както и картата. За целта е необходимо да се създаде една информационна банка в която цифровите информации за терена се подредени в правилни фигури с оптимални размери, покриващи определена територия. Ако територията е голяма, е подходящо ЦМР да се раздели на отделни участъци по подобие и аналогично на разграфката на картните листове.

Ще приемем, че цялата територия е раздробена на квадрати, наречени основни. Всеки основен квадрат се покрива от по-голям квадрат, който се нарича блок /фиг. 3.8/. Във всеки блок се съдържат непокриващи се триъгълници така,

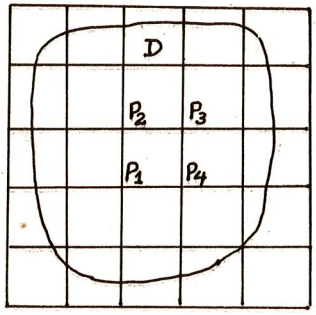
че основният квадрат да се покрива изцяло от непокриващи се триъгълници / фиг. 3.9/.

Страната на основния квадрат D се опредея така, че максималния брой $N_{max}$ на точките в квадратите да е ограничен

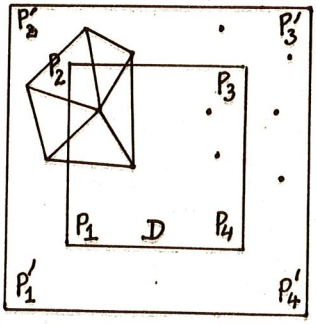
$$N_{max} \leq N_0 , \qquad /3.2.5/$$

където $N_0$ се определя в зависимостта на капацитета на ЕИМ / микрокомпютра/, с който се работи.

В зависимостта от броя на дадените точки, един обект може да има един или няколко блока.




Фиг. 3.8




Фиг 3.9

Като параметри за блока ще се използуват координатите на юго-западната точка $P_\ell$ / $X_\ell$ , $Y_\ell$ / на основния квадрат. Точка $m$ с зададени координати / $X_m$ , $Y_m$ / се намира в блок $\ell$ , ако

$$X_\ell = [X_m // D]D \; ; \; Y_\ell = [Y_m // D]D , \qquad /3.2.7/$$

където знак // е целово числено деление и принадлежи на триъгълник $ijk$ от блок $\ell$ ако

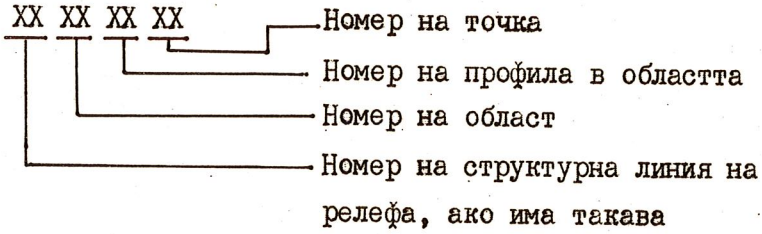
$$Sign[det(m,i,j)] = sign[det(m,j,k)] = Sign[det(m,k,i)] . \qquad 3.2.8/$$

Блокът представлява основна единица на базата данни, а триъгълния елемент се явява най-ниския информационен елемент.

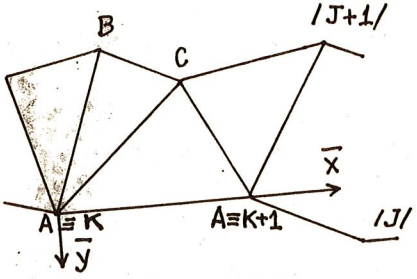
## 3.3. НАЧИН ЗА ПОСТРОЯВАНЕ НА МРЕЖА ОТ НЕПОКРИВАЩИ СЕ ТРИЪГЪЛНИЦИ

Нека територията се състои от ограничен брой области. Нека в една област са дадени P непресичащи се профили. Построяването на мрежа от непокриващисе триъгълници на областта се образува на ивици непокриващи се триъгълници между два съседни профили $j$ и $j+1$ / фиг. 3.10/.

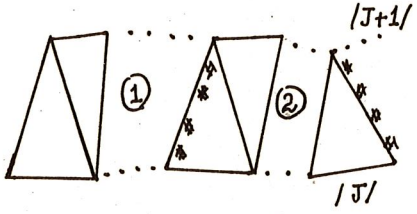
Номерата на точките от профилите се съставят примерно по следния начин:




Ако профила $j$ и $j+1$ има точки с еднакви номера на структурни линии на релефа, то в процеса на построяване на триъгълниците съответствуващите две точки от двата профила трябва да образуват страна поне на един триъгълник / фиг. 3.11/.




Фиг. 3.10




Фиг. 3.11

Отбелязваме, че алгоритъмът не е валиден за участъци от профили в които $\frac{\pi}{2} \leq \beta \leq \frac{3\pi}{2}$, $\beta$ е ъгълът определен от K-1, K , K+1, а при $\beta > \frac{\pi}{2}$ ивицата би трябвало да се раздели на час-

ти с помощта на линии като тези на структурните линии.

### 3.4. ОПРЕДЕЛЯНЕ ВИДА НА ТЕРЕННИТЕ ГРАНИЧНИ ЛИНИИ НА ТРИЪГЪЛНИ ЕЛЕМЕНТИ

Нека са дадени две точки $P_0$ и $P_3$ и тангенциалните равнини в точка $P_0$ и $P_3$, където $P_0$ и $P_3$ са два върха на триъгълник. Да се определи апроксимационната крива на граничната крива през точка $P_0$ и $P_3$ за която се удовлетворяват условията / 3.1.1/ и / 3.1.2/.

Ще се определят точки $P_1$ от тангента $T_1$ и $P_2$ от тангента $T_2$ така, че полученият многоъгълник $P_0P_1P_2P_3$ да бъде многоъгълник на Безе, дефиниращ кривата на Безе, която едновременно удовлетворява условия / 3.1.1/ и / 3.1.2/.

#### 3.4.1. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НАКЛОНА НА ТАНГЕНТИТЕ $T_1$ и $T_2$

Тангенциална равнина в точка $P_0$ има следния вид

$$\bar{H}_{P_0} = H_{P_0} + a_{P_0} x + b_{P_0} y \,, \qquad x = X - X_{P_0} \,, \; y = Y - Y_{P_0} \,. \qquad / 3.4.1/$$

Въз основа на / 3.4.1/ наклона на тангента $T_1$, лежаща върху равнината се определя по формулата

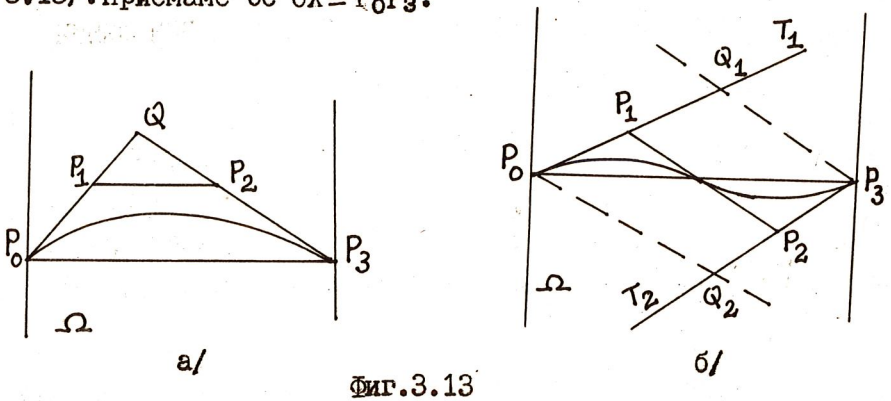
$$T_{P_0P_3} = a_{P_0} \cos\alpha_{P_0P_3} + b_{P_0} \sin\alpha_{P_0P_3} \,, \qquad / 3.4.4/$$

където $\alpha_{P_0P_3}$ е посочния ъгъл на $P_0P_3$, а $S_{P_0P_3}$ е разстояние между точка $P_0$ и $P_3$. Аналогично се определя и наклона на тангента $T_2$.

#### 3.4.2. ОПРЕДЕЛЯНЕ ВИДА НА ГРАНИЧНИТЕ ЛИНИИ НА ТРИЪГЪЛНИЯ ЕЛЕМЕНТ

От свойството на кривата на Безе следва, че когато точките $P_1$ и $P_2$ се отдалечават линейно от точка $P_0$ и $P_3$ по тангентите $T_1$ и $T_2$ тогава максималното разстояние между

кривата на Безе и хордата се увеличава и обратно / фиг. 3.13/. Приемаме ос $OX \equiv P_0P_3$.




Фиг.3.13

При първия случай тангентите се пресичат в точка $Q \in \Omega$. Тогава

$$\vec{P}_1 = \vec{P}_0 + (\vec{Q} - \vec{P}_0)\mu \; ; \; \vec{P}_2 = \vec{P}_3 + (\vec{Q} - \vec{P}_3)\mu, \quad /3.4.7/$$

където $\vec{P}_0$, $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, $\vec{Q}$ - вектори на точките $P_0$, $P_1$, $P_2$, $P_3$, $Q$, а $\mu$ е коефицент на кривата на Безе.

При втория случай тангентите не се пресичат в областта $\Omega$. Тогава тангента $T_2$ се завърта около ос $P_0P_3$ до пресичането ѝ с $T_1$, а $T_1$ се завърта около $P_0P_3$ до пресичането ѝ с $T_2$ за да се определят точки $Q_1$ и $Q_2$ / фиг. 3.13.б/.

В този случай точките $P_1$ и $P_2$ се определят от равенства

$$\vec{P}_1 = \vec{P}_0 + (\vec{Q}_1 - \vec{P}_0)\mu \; ; \; \vec{P}_2 = \vec{P}_3 + (\vec{Q}_2 - \vec{P}_3)\mu. \quad / 3.4.8/$$

Коефицент $\mu$ се определя по следния начин:

В зависимост от наклона на релефа се избира число $N$, като при наклона до $5^0$ е подходящо $N = 6$, а при по стръмен се приема $N = 12$.

Тогава

$$\mu = K/N \; , \; K = N, N-1, \ldots, 1, 0. \quad / 3.4.10/$$

За различните стойности на K се определят редица

от стойностите $P_1^{(K)}$ и $P_2^{(K)}$, които дефинират многоъгълниците $P_0^{(K)}P_1^{(K)}P_2P_3$. Първа двойка точки $P_1^{(K)}$ и $P_2^{(K)}$, при които кривата на Безе изпълнява условие / 3.1.1/ се избират като точки $P_1$ и $P_2$. Максимално отклонение между кривата и хордата се определя по следния начин:

$$f_{max} = max \{ f_\ell \}, \qquad / 3.4.12/$$

където $f_\ell$ е отклонението между кривата и хордата в дискретните точки $\ell$ / $\ell = 1, 2, \ldots, s$ /.

Височина на точките от кривата се определят от уравнението

$$H(t) = (1-t)^3 H_{P_0} + 3t(1-t)^2 H_{P_1} + 3t^2(1-t) H_{P_2} + t^3 H_{P_3}, \qquad / 3.4.13/$$

където $H_{P_0}$, $H_{P_1}$, $H_{P_2}$, $H_{P_3}$ са височини на точките $P_0$, $P_1$, $P_2$, $P_3$ съответно.

## 3.5. ИНТЕРПОЛАЦИОННА ФУНКЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНА ОТ ДИСКРЕТНИ ТОЧКИ ПО ТАНГЕНТИТЕ НА ГРАНИЧНИТЕ ЛИНИИ В ТРИЪГЪЛНИЯ ЕЛЕМЕНТ

Нека се приемат че дискретни точки върху тангентите са тези, които определят многоъгълници на Безе и се получават в процеса на построяване на триъгълния елемент.

Приемат се следните означения:

- $P_1$, $P_2$, $P_3$ - височини на върхове на триъгълника $ijk$ / $i = 1$, $j = 2$, $k = 3$ /.

- $P_4$, $P_5$, ..., $P_9$ - височини на точките 4, 5 , ...,9, където точките 4 и 5 са точки на многоъгълника на Безе състоящ се от точките 1, 4, 5, 2. Аналогично - точки 6 и 7 са точки от многоъгълника 2, 6, 7, 3, а точки 8, 9 - от 3, 8, 9, 1 .

Интерполационната функция ще има следния вид

$$H(x,y) = \sum_{s=1}^{9} P_s p_s \ , \qquad / 3.5.1/$$

където $p_s$ са базисни функции.

За наклоните на тангентите към граничните линии $ij$ и $ik$ съгласно / 3.4.4/ важи

$$T_{ij} = a_i \cos\alpha_{ij} + b_i \sin\alpha_{ij} \ ,$$

$$T_{ik} = a_i \cos\alpha_{ik} + b_i \sin\alpha_{ik} \ . \qquad / 3.5.2/$$

След решение на уравнение / 3.5.2/ по отношение на $a_i$ и $b_i$ се получават

$$a_i = [\, P_i(-K_m \sin\alpha_{ik} + K_n \sin\alpha_{ij}) + P_m K_m \sin\alpha_{ik} - P_n K_n \sin\alpha_{ij}\,] / \sin(\alpha_{ik} - \alpha_{ij}) . \qquad / 3.5.5/$$

$$b_i = [\, P_i(-K_n \cos\alpha_{ij} + K_m \cos\alpha_{ik}) + P_m(-K_m)\cos\alpha_{ik} + P_n K_n \cos\alpha_{ij}\,] / \sin(\alpha_{ik} - \alpha_{ij}) , \qquad / 3.5.6/$$

където:

$$K_m = \frac{1}{S_{im}} \ , \ K_n = \frac{1}{S_{in}} , \ m \in \{4,6,8\}, \ n \in \{5,7,9\}.$$

Въз основа на формулата на Ермит имаме

$$H(x,y) = \sum_{i=1}^{3} (P_i q_i + a_i r_i' + b_i s_i') \ . \qquad / 3.5.12/$$

След заместване на / 3.5.5/ и / 3.5.6/ в / 3.5.12/ и след преобразувания се получава

$$H(x,y) = \sum \{ q_i + [K_m S_{ij}(-r_i' \Delta y_{ik} + s_i' \Delta x_{ik}) + K_n S_{ik}(r_i' \Delta y_{ij} - s_i' \Delta x_{ij})] / D_{ijk} \} P_i + \qquad /3.5.14/$$

$$+ \sum_m P_m (r_i' \Delta y_{ik} - s_i' \Delta x_{ik}) S_{ik} K_m / D_{ijk} +$$

$$+ \sum_n P_n (-r_j' \Delta y_{jk} + s_j' \Delta x_{jk}) S_{ji} K_n / D_{ijk} \ ,$$

където:

$$q_i = L_i (3L_i - 2L_i^2 + 2L_j L_k),$$

$$r_i' = L_i^2 (L_k \Delta x_{ki} + L_j \Delta x_{ji}) + 0{,}5 L_i L_j L_k (\Delta x_{ki} + \Delta x_{ji})$$

$$\delta_i' = L_i^2 (L_\kappa \Delta y_{\kappa i} + L_j \Delta y_{ji}) + 0{,}5\, L_i L_j L_\kappa (\Delta y_{\kappa i} + \Delta y_{ji}),$$

$$D_{ijk} = det(i, j, k),$$

$$i, j, k \in \{1, 2, 3\}.$$

Формула / 3.5.14/ се изразява още чрез L-координати във вида

$$H(x,y) = \sum_{i=1}^{3} \left\{ q_i + \frac{1}{L_j(m)} (-r_i \Delta y_{ik} + \delta_i \Delta x_{ik}) + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{L_k(n)} (r_i \Delta y_{ij} - \delta_i \Delta x_{ij} \right\} P_i +$$

$$\sum_m P_m (r_i \Delta y_{ik} - \delta_i \Delta x_{ik}) \frac{1}{L_j(m)} + \qquad / 3.5.17/$$

$$\sum_n P_n (-r_j \Delta y_{jk} + \delta_j \Delta x_{jk}) \frac{1}{L_j(n)},$$

$$r_i = r_i' / D_{ijk}, \quad \delta_i = \delta_i' / D_{ijk}.$$

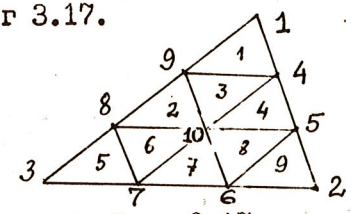
Задаването на формата на повърхнината с числови характеристики, като производните / например формулата на Ермит/ не осигуряват интуитивното усещане на връзката между числата и формата на повърхнината. Получената формула / 3.5.14/ съответно /3.5.17/ до някаква степен създават условия на потребителя за по-ясно представяне на повърхнината. Може да се измени формата на повърхнината чрез измения на входните точки 4,5,...,9 докато достигне до желаното решение. Това има важно значение при интерактивното проектиране на повърхнини в диалогов режим.

## 3.6. СГЪСТЯВАНЕ НА ТРИЪГЪЛНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

От своя страна всеки триъгълен елемент може да се раздели по подходящ начин на по-малки триъгълници, които се наричат подтриъгълници. Предполага се, че граничните линии на триъгълните елементи са построени по начина, изложен в точка 3.4.

Примерно страните на триъгълника да се разделят на

три равни части. В случая се получават девет подтриъгълника. Нека се номерират подтриъгълниците и върховете им както е показано на фиг 3.17.




Фиг. 3.17

Ако се въвеждат $L$ - координати за изходния триъгълник важи $0 \leq L_i \leq 1$ или $0 \leq 3L_i \leq 3$. Ако се положи $3L_i = L'_i$ следва:

$$0 \leq L'_i \leq 3. \qquad / 2.6.3/$$

При това положение се съставя следната таблица

Таблица 3.6

| N | Върхове на подтриг-к | | | $L'_1$ | $L'_2$ | $L'_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | J | K | | | |
| 1 | 1 | 4 | 9 | 2 | 0 | 0 |
| 2 | 8 | 9 | 10 | 1 | 0 | 1 |
| 3 | 4 | 9 | 10 | 1 | 0 | 0 |
| 4 | 4 | 5 | 10 | 1 | 1 | 0 |
| 5 | 3 | 7 | 8 | 0 | 0 | 2 |
| 6 | 7 | 8 | 10 | 0 | 0 | 1 |
| 7 | 6 | 7 | 10 | 0 | 1 | 1 |
| 8 | 5 | 6 | 10 | 0 | 1 | 0 |
| 9 | 2 | 5 | 6 | 0 | 2 | 0 |

Височината на точка 10 - точка на център на тежестта се определя въз основа на формула / 2.4.7/. Равнинните координати на точки 4,5,...,10 се определят чрез линейна интерполация. Височини на точки от кривите на Безе се определят по формула / 3.4.13/ при $t = 1/3$ за точки 4,6,8 и $t = 2/3$ за точки 5,7,9. Височината на точка с равнинни координати / X,У/ попадаща в подтриъгълника $m$ / $I_m J_m K_m$ / се определят чрез линейната интерполация / точка 2.3/.

По такъв начин изходния нелинеен триъгълен елемент се заменя с по-малки линейни триъгълни елементи.

## 3.7. ЧИСЛЕНИ ПРИМЕРИ

На два обекта е извършена тахиметрична снимка. За първия обект е изработен план в М 1: 1000 и основно сечение на хоризонталите 1 $m$ , а за втория обект е изработен план в М 1: 200. Използуван е и трети обект, изходни точки, за който са отчетени от топографска карта в М 1: 5000 с основно сечение 2 $m$ . Чрез програми на Бейсик по начина, изложена на точка 3.3 са построени мрежи от непокриващи се триъгълници за отделни обекти. Височините на едни и същи точки се определят чрез отчитането от планове и от програмите и се образуват разликите, от които са съставени таблица 3.7.1, таблица 3.7.2 и таблица 3.7.3 /от дисертацията/.

Височините на точките са определени по следните начини

1. Линейна интерполация:

$$H^{(1)} = a + b X + c Y \qquad / 3.7.1/$$

където $a$ , $b$ , $c$ се определят въз основа на начина, изложе в точка 2.3.

2. Нелинейна интерполация:

а/ $$H^{(2)} = \sum_{J=1}^{9} H_j \overline{N_j} \qquad / 3.7.2/$$

където $H_1$, $H_2$, $H_3$ са височини на върховете на триъгълника, в който попада точка / X.J/, а $\overline{N_j}$ се определят въз основа на формулите / 2.4.6/ и / 2.4.9/; $H_4, H_5, \ldots, H_9$ - са височини на точки от кривите на Безе, след деление на хордите на три равни части и са получени по начина, изложен в точка 3.4.

б/ $$H^{(3)} = \sum_{J=1}^{9} H_j p_j \qquad / 3.7.3/$$

където $H_1$ , $H_2$ , $H_3$ са височини на върховете на триъгълника, в

който попада точката, а $p_j$ се определят по начина, изложен в точка 3.5.

в/ $$H^{(4)} = a^{(к)} + b^{(к)}x + c^{(к)}y \quad , \qquad / 3.7.4/$$

където $a^{(к)}$, $b^{(к)}$, $c^{(к)}$ са параметри към подтриъгълника, получен чрез сгъстяване на основния триъгълник по начин, изложен в точка 3.6.

В таблиците 3.7.1, 3.7.2, 3.7.3 със $\Delta H$ са означени разликите между височините на едни и същи точки, получени от изчислението и отчитането им от плановете / картата/, т.е

$$\Delta H_{\Lambda} = H^{(1)} - H^{(к)} \quad , \quad \Delta H_{кр} = H^{(2)} - H^{(к)} \quad ,$$
$$\Delta H_{T} = H^{(3)} - H^{(к)} \quad , \quad \Delta H_{\Delta} = H^{(4)} - H^{(к)} \quad .$$

от които се изчислят средни квадратни разлики

$$m = \sqrt{\frac{[(\Delta H)^2]}{n}} \quad ,$$

където $H^{(1)}$, $H^{(2)}$, $H^{(3)}$, $H^{(4)}$ са височините на същите точки, получени от отчитане от плановете / картата/. По долу ще се покаже изваДка на част от таблицата 3.7.1.

Средните квадратни разлики са определени както следва:

За първия обект / тахиметрична снимка/

$$m_{h_{\Lambda}} = \sqrt{4,3662/119} = 0,19m \quad , m_{h_{кр}} = \sqrt{6,3674/119} = 0,23m$$
$$m_{h_{\Delta}} = \sqrt{5,9474/119} = 0,22m \quad , m_{h_{T}} = \sqrt{6,2466/119} = 0,23m$$

За втория обект / тахиметрична снимка на пътно трасе/

$$m_{h_{\Lambda}} = \sqrt{1,6004/55} = 0,17m \quad , m_{h_{кр}} = \sqrt{2,7901/55} = 0,23m$$
$$m_{h_{\Delta}} = \sqrt{2,1400/55} = 0,20m \quad , m_{h_{T}} = \sqrt{10,495/55} = 0,44m$$

За третия обект / карта/

$$m_{h_{\Lambda}} = \sqrt{3,6689/37} = 0,31m \quad , m_{h_{кр}} = \sqrt{4,5627/37} = 0,35m$$
$$m_{h_{\Delta}} = \sqrt{4,2841/37} = 0,34m \quad , m_{h_{T}} = \sqrt{3,4207/37} = 0,30m$$

От разгледаните в тази глава въпроси и примери могат да се направят следните основни изводи:

1. При достатъчна гъстота и целесъобразно местоположение на точките, при условие, че страните на триъгълниците следват терена, точността на ЦМР при нелинейната интерполация не е по-голяма от тази при линейната интерполация.

2. При нелинейната интерполация е достатъчно да се използува формула / 3.7.2/, при която информацията на базата данни за ЦМР е най-малка.

3. Интерполациите по формули /3.7.2/ и / 3.7.4/ дават практически еднакви резултати.

4. Предложените начини могат да се прилагат в задачите за автоматизация на проектирането.

Като имаме предвид тези изводи в глава четвърта ще бъдат създадени две програмни системи за изграждане на база данни за ЦМР и извличане на профили.

## ГЛАВА ЧЕТВЪРТА

### 4.1. ПРОГРАМНА СИСТЕМА ЗА СЪЗДАВАНЕ НА БАЗА ДАННИ ЗА ЦМР И ИЗВЛИЧАНЕ НА ПРОФИЛИ ЧРЕЗ ЛИНЕЙНА ИНТЕРПОЛАЦИЯ

1. Въвеждане на информацията - списъци с координати и височини служат за изходни данни при създаване на базата за ЦМР.

2. Създаване на блокове по начина изложен в точка 3.2.

3. Построяване на мрежата от непокриващи се триъгълници по начина, изложен в точка 3.3.

4. Проверка и корегиране на построените триъгълници за всеки блок. Ако мрежата от непокриващи се триъгълници се построи без да се отчитат структурните линии, примерно по начин, изложен в [14], тогава трябва да се провери и извършва

Извадка от таблица 3.7.1.

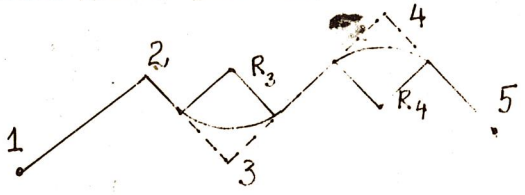
| N | $\Delta H_{\Lambda}$ | $\Delta H_{кр}$ | $\Delta H_{\Delta}$ | $\Delta H_{т}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,03 |
| 2 | -0,02 | -0,05 | 0,07 | 0,00 |
| 3 | -0,15 | -0,15 | -0,15 | -0,14 |
| 4 | -0,18 | -0,16 | -0,15 | 0,14 |
| 5 | -0,22 | -0,22 | -0,23 | -0,07 |
| 6 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,04 |
| 7 | 0,20 | 0,20 | 0,19 | 0,19 |
| 8 | 0,20 | 0,11 | 0,11 | 0,19 |
| 9 | 0,49 | 0,27 | 0,31 | 0,28 |
| 10 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,03 |
| 11 | -0,11 | -0,13 | -0,13 | -0,12 |
| 12 | 0,00 | 0,05 | 0,06 | 0,01 |
| 13 | -0,06 | -0,07 | -0,05 | 0,05 |
| 14 | -0,08 | -0,11 | -0,13 | -0,16 |
| 15 | -0,21 | -0,10 | -0,11 | -0,20 |
| 16 | -0,14 | -0,23 | -0,21 | 0,12 |
| 17 | 0,21 | 0,27 | 0,25 | 0,21 |
| 18 | 0,25 | 0,28 | 0,33 | 0,23 |
| 19 | 0,29 | 0,24 | 0,24 | 0,26 |
| 20 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,04 |
| 21 | -0,12 | -0,21 | -0,20 | -0,17 |
| 22 | -0,22 | -0,22 | -0,18 | -0,24 |
| 23 | -0,05 | -0,05 | -0,05 | -0,05 |
| 24 | -0,11 | -0,12 | -0,12 | -0,12 |
| 25 | -0,17 | -0,27 | -0,21 | -0,04 |
| 26 | -0,22 | -0,18 | -0,16 | -0,22 |
| 27 | -0,08 | -0,12 | -0,11 | -0,07 |
| 28 | 0,16 | 0,14 | 0,13 | 0,33 |
| 29 | 0,17 | 0,06 | 0,05 | 0,23 |
| ... | ... | ... | ... | ... |

корегирането така, че всички структурни линии да са страни от триъгълници / ако има такива/. В дисертацията е изложен начин за корегирането на триъгълниците за тази цел.

5. Определяне на атрибутите / параметрите/ към всеки триъгълник за всеки блок. За всеки триъгълник $ijk$ се определят атрибути $a$, $b$, $c$, които се получават въз решение на системата / 2.3.2, точка 2.3/

6. Автоматизирано извличане на профили

Трасето на профила се състои най-често от прави отсечка и кръгови дъги / фиг. 4.5/.




Фиг. 4.5

Редът на решението на задачата е следния:

- определяне на равнинните координати на подробните точки,
- определяне на блоковете, в които попадат точките,
- определяне на триъгълниците, в които попадат точките
- определяне на височините им. Тук височините на точките се определят по формулата / 3.7.1/.

## 4.2. ПРОГРАМНА СИСТЕМА ЗА СЪЗДАВАНЕ НА БАЗА ДАННИ ЗА ЦМР И ИЗВЛИЧАНЕ НА ПРОФИЛИ ЧРЕЗ НЕЛИНЕЙНА ИНТЕРПОЛАЦИЯ

Редът на решаването чрез програмната система е следния:

Етапите от 1 до 4 са идентични с тези от т чка 4.1.

5. Определяне на тангенциалните равнини в околността на изходните точки:

Околните точки са тези, които с точка $i$ образуват страни на триъгълниците. Нека техния брой е К.

Видът на уравнението на околната повърхнина зависи от броя К, както следва:

$K = 3$ : $H = H_i + a_i x + b_i y$, / 4.2.1/

$4 \leq K \leq 6$ : $H = H_i + a_i x + b_i y + 2c_i xy$, / 4.2.2/

$6 \leq K$ : $H = H_i + a_i x + b_i y + 2c_i xy + e_i x^2 + f_i y^2$, / 4.2.3/

където $x = X - X_i$ , $y = Y - Y_i$ .

Коефицентите в уравненията / 4.2.1/, / 4.2.2/ и /4.2.3/ се определят чрез МНМК. От [13] известно е, че $a_i$, $b_i$ са параметририте на тангенциалната равнина на околната повърхнина.

6. Определяне на атрибутите /параметрите/ на триъгълния елемент. Това става след като се определят наклоните на тангентите към граничните линии и точките на многоъгълниците на безе на съответните криви към триъгълния елемент. Бисочините на точките $H_m$, $H_n$ / $m \in \{4,6,8\}$ , $n \in \{5,7,9\}$ / се определят въз основа на формула / 3.4.13/ при $t = 1/3$ и $t = 2/3$ съответно.

7. Автоматизирано извличане на профили - редът на решението на задачата е идентичен с този от точка 4.1. Бисочините на подробните точки от профила се определят по формулата / 3.7.2/.

Крайните резултати от процеса на създаване на ЦМР са файловете на ЦМР по блокове, които образуват базата данни за ЦМР. Крайните резултати от извличането на надлъжния профил са файловете от типа "NADL.PROF", в които влизат разстояния от началната точка до подробните точки със съответните

надморски височини. Освен това се получава графично представяне на надлъжния профил.

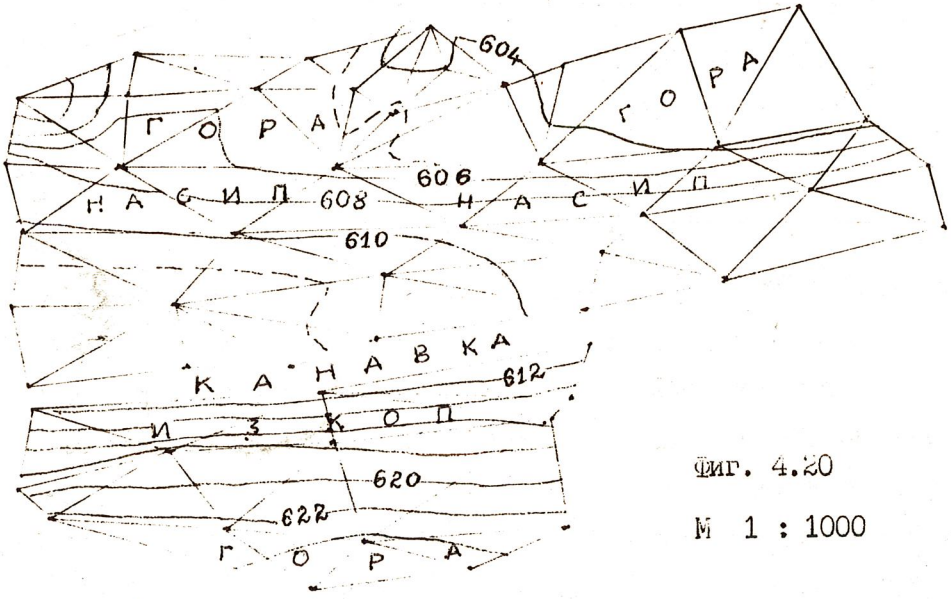
4.3. ЧИСЛЕНИ ПРИМЕРИ

1. Върху топографски план в мащаб 1:1000 и основно сечение 1 $m$ са прокарани 2 профила и са отчетени височини на точки по профилите. Профилите са от полигонови точки и разположени на няколко блока. Разстояние между подробни точки е 10 $m$ . Чрез линейната програмна система е съставена базата данни за ЦМР. Височините на подробните точки по профили са определени чрез същата програмна система. Образуват се разликите между височините по профилите на едни и същите подробни точки получени от програмната система и от отчитането от плана. От получените разлики е изчислена средна квадратна разлика $m_I$ и $m_{II}$ за първия и втория профил съответно и са опраделени:

$$m_I = \sqrt{0,5158/31} = 0,13m\,,\; m_{II} = \sqrt{0,1980/22} = 0,10m$$

2. Върху чертежа на едно трасе в мащаб 1:200 и основно сечение 1 $m$ изработено чрез ръчно нанасяне на подробните точки от тахиметрична снимка е прекарана квадратна мрежа със страна $D$ = 10 $m$ и отчетени височини на възловите точки.

Чрез програмната система с нелинейната интерполация е съставена мрежа от непокриващи се триъгълници с оглед запазване на релефните форми. При това положение страните на триъгълниците следват терена и са целесъобразно разположени / фиг. 4.20/. В таблица 3.7.2 / колон 2/ от дисертацията са нанасени разликите между височина на точка определена чрез програмната система и височина на същата точка отчетена от чертежа на трасето.




Фиг. 4.20

М 1 : 1000

Забележка: Основно сечение на фиг. 4.20 $\Delta h = 2\,m$ .

От получените 55 разлики във възловите точки е изчислена средна квадратна разлика $m = 0{,}23\,m$.

## ГЛАВА ПЕТА

### 5.1. ТОЧНОСТ НА ЦМР

Гъстота на точките, които моделират цифрово даден обект определя и точността на модела.

Тъй като при графическите модели с увеличаване на мащабното число се извършва генерализация на изобразения обект / територия/, така и при цифровите модели заедно с понижаване на изискванията за точност се прави генерализация, водеща до намаляване на броя на изходните точки на съответния модел. Тези обстоятелства създават ясно съответствие между цифровите и графическите модели.

Основата на ЦМР са височините и координатите на разп-

ръснати точки, чиято точност и гъстота трябва да съответствува на тази на картата в даден мащаб.

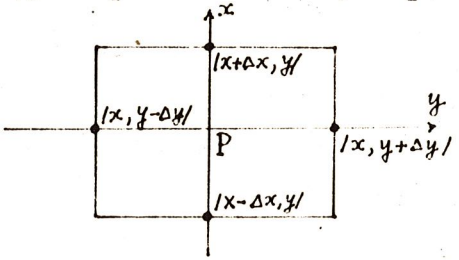
## 5.2. ЗАВИСИМОСТ МЕЖДУ $m_h$ И МОДУЛА НА ВЕКТОРА НА ГРАДИЕНТА КЪМ МОДЕЛНАТА ПОВЪРХНИНА НА РЕЛЕФА

Вектора на направлението на най-големия наклон $\vec{\Gamma} = Grad H / x, y /$ се определя по формулата / 2.1.34/.

Модулът / големина/ на $\vec{\Gamma}$ се определя по формула

$$\| \Gamma \| = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} \quad . \qquad / 5.2.4/$$

Ако се създаде локално поле във вътрешността на триъгълник във вид на правоъгълник с център точка P / фиг.5.1/,




Фиг. 5.1

тогава величините $a_1$ и $b_1$ могат да се определят по формулите:

$$a_1 \approx \frac{H(x+\Delta x, y) - H(x-\Delta x, y)}{2\Delta x} \qquad / 5.2.5/$$

$$b_1 \approx \frac{H(x, y+\Delta y) - H(x, y-\Delta y)}{2\Delta y} \quad . \qquad / 5.2.6/$$

При линейна интерполация точка P лежи в равнината на триъгълника

$$H = a + b x + c y \quad . \qquad / 5.2.7/$$

В този случай

$$\| \Gamma \| = \sqrt{b^2 + c^2} \quad , \qquad / 5.2.8/$$

където $b$ и $c$ са атрибути към триъгълника.

Нека $m_h$ е средната квадратна грешка на височината

на определяма точка от ЦМР и да се изследва зависимостта

$$m_h = f(\|\Gamma_p\|), \qquad / 5.2.9/$$

където $\|\Gamma_p\|$ се определя по формула / 5.2.4/.

За целта се постъпва както следва:

- Изчисляват се $\Delta H = H^{изч.} - H^{пл.}$, където $H^{пл.}$ се отчитат от плана или картата, а $H^{изч.}$ се определят чрез програмните системи,

- Изчислят се $\|\Gamma_p\|$ по формула / 5.2.4/ с оглед на / 5.2.5/ и / 5.2.6/ за нелинейната интерполация, а по формула / 5.2.8/ за линейната интерполация,

- Съставя се таблица със стойности $\|\Gamma_i\|$ и $\Delta H_i$, които се нанасят в координатната система / 0 ;$\|\Gamma\|$, $\Delta H$ /.

Въз основа на получената графика се изчислява коефициента на корелация между $\Delta H_i$ и $\|\Gamma_i\|$ по МНМК и се определя регресионната крива.

ЧИСЛЕНИ ПРИМЕРИ

Въз основа на данните от примерите в точка 3.7 от дисертацията, чрез програми на Бейсик са изчислени стойностите $\|\Gamma_i\|$ и $\Delta H_i$ при точките, разстоянията между които са 10 m при тахиметричните снимки, а върху картата точките се намират близо до центровете на триъгълниците.

Търси се корелационна връзка между $m_h$ и модула на градиента от вида

$$m_h = A + B\|\Gamma\|, \qquad / 5.2.10/$$

където A и B са неизвестни коефициенти.

Съставят се уравнения на поправките във вида

$$v_i = A + B\|\Gamma_i\| - \Delta H_i, \qquad / 5.2.11/$$

чрез които се получава нормалната система, от решението на която се определят A и B.

Въз основа на данните от таблица 5.1 от дисертацията за линейната интерполация се получава

$$m_{p_л} = 0,14 + 0,3 \|\Gamma\| . \qquad / 5.2.12/$$

Въз основа на данните от таблица 5.2 от дисертацията за нелинейната интерполация се получава

$$m_{h} = 0,15 + 0,3 \|\Gamma\| . \qquad / 5.2.13/$$

Сравнението между / 5.2.12/ и / 5.2.13/ за конкретния пример показва, че двата подхода на интерполация водят до идентични резултати.

Понеже липсват данни за различни категории на релефа при различни видове на измервания, зависимостта / 5.2.9/ в пълния вид още не можем да изведем. В числения пример приемаме линейната зависимост / 5.2.10/ въз основа на формула на Копе [27] .

## З А К Л Ю Ч Е Н И Е

Основните резултати на дисертационната работа, имащи научно и приложно значение могат да се обощат в следното:

1. Въз основа на анализ на литературни източници се стига до извода, че е подходящо прилагането на метода на крайните елементи за изграждане на ЦМР. При това използването на триъгълните елементи е най-ефективно - точка 1.2 и точка 3.1.

2. Установено е, че при достатъчна гъстота и целесъобразно местоположение на точките, при условие, че страните на триъгълниците следват терена, точността на ЦМР при нелинейната интерполация не е по-голяма от тази при линейната интерполация - точка 3.7.

3. Предложен е начин за изграждане на мрежа от непок-

риващи се триъгълници. При този начин точките са разположени на непресичащи се профили - точка 3.3.

4. Предложен е начин за изграждане на база от данни за ЦМР при наличие на мрежа от непокриваши се триъгълници - точка 3.2.

5. Предложен е начин за апроксимация на теренните гранични линии на триъгълните елементи - точка 3.4.2.

6. Изведена е формула / 3.4.14/ съответно / 3.5.17/ за интерполиране на триъгълния елемент при зададени дискретни точки на тангентите на граничните му линии - точка 3.5.

7. Предложен е начин за изследване на точността на ЦМР - точка 5.2.

8. Разработени са две програмни системи на Бейсик за създаване на базата от данни за ЦМР и извличане на профили на микрокомпютърът " ПРАВЕЦ - 82" - точка 4.1 до точка 4.7.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

2. Банов, Б. Емпиричен метод за интерполиране на хоризонтали. "Геодезия, картография, земеустройство", С., 1986, №2.

3. Бенсънт, К. Машинната графика в автоматизацията на проектирането и производство. " техника", С., 1984.

4. Бойко, А.В. Методы и средства автоматизации топографских съемок. " Недра", М., 1980.

7. Гигой, В. Интерактивная машинная графика. " Мир", М., 1981.

9. Зафиров, П и др. Интерактивна графична система за редактиране и актуализиране на цифрови модели на местността. Втори международен симпозиум по дигитална топографска карта, Пловдив, 1985.

11. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике, " Мир", М., 1975.

13. Златанов, Г. ЦМР - Една нова концепия. Втори международен симпозиум по дигитална топографска картография, Пл., 1985.

14. Златанов, Г. Електронно-изчислителна техника в геодезията, " Техника", С., 1979.

15. Лобанов, А.Н. Фотограметрия, " Недра", М., 1983.

16. Маждраков, М. и др. Изграждане и съдържание на маркщайдерска инфомационна база на открит рудник. Втори международен симпозиум по дигитална картография, Пловдив, 1985.

17. Мартэн, А. Базы данных. Практические методы. " Радио и связь", М., 1983.

20. Мичел, Э., Р.Уэит. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными, " Мир", М., 1981.

21. Натансон, И.П. Конструктивная теория функций, " Технико-теоретическая литература", М., 1949

24. Роджерс, Д., Дж.Адамс. Математические основы машинной графики, " Машиностроение", М., 1980.

25. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов, " Мир", М., 1982.

27. Стойчев,Д., В.Куртев, Ст.Атанасов. Геодезия, II ч., " Техника", С., 1982.

28. Фокс, А., М.Пратт. Вычислителная геометрия. Применение в проектировании и на производстве, " Мир", М., 1982

33. Янков, Е., М.Аврамов. Бейсик за микрокомпютри, " Техника", С., 1986.

## ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

1. Тема по НИПС при ВИАС " Съставяне и използване на цифрови модели за автоматизирано проектиране в селищното стопанство", 1984 год. От автора е разработен въпросът: " ППП за издаване на цифров модел на релефа и автоматизирано извличане на надлъжни профили", / стр. 8 - 3 /.

2. Метод за интерполиране при нерегулярен числен модел на релефа. Геодезия, картография, земеустройство. С., 1986, N 5.

3. Създаване на база данни за цифров модел на релефа и нейното използуване за автоматизирано извличане на профили. Геодезия, картография, земеустройство, /подпечат/.

Аспирантът счита за свой дълг да изкаже своята най-искренна благодарност и дълбока признателност на ръководителите си проф. д.т.н. инж. Г.Златанов, доц. к.т.н. инж. Н.Томова за напътствие при разработване на темата, както и за грижа на аспиранта; на доц. к.т.н. инж. В.Банов за консултациите, за ценната литература предоставена на разположение на аспиранта.